

Curvas Altura-Área-Duración de una tormenta usando SIG

Depth-Area-Duration Curve of a storm using GIS

Jesús Andrades*, Alex Barrios** y Roger Valladares***

Recibido: 13-11-2009 / Aceptado: 27-05-2010

Resumen

Las curvas Altura-Área-Duración son un procedimiento que intenta reconstruir la variación espacio-temporal de una tormenta extrema, para elaborar dicho análisis se pueden aplicar dos métodos (Isoyético Incremental y Curva Másica), en este estudio se comparó la elaboración de las curvas por ambos métodos, aplicándolos a la tormenta ocurrida el 28-04-1972 sobre la cuenca del río Chama y cuyo el pico máximo fue registrado por la estación Hidrométrica Chama-Ejido. El método Isoyético Incremental se realizó interpolando con Kriging Lineal para un tamaño de pixel constante de 100 m, y luego filtrando las horas de las distintas duraciones para así obtener la máxima precipitación absoluta para un área y una duración determinada. En el método de la Curva Másica se aplicó el enfoque de reconstruir la tormenta a partir del supuesto de que el evento tiene un patrón de variación espacio-temporal similar al del total de duración del mismo y mediante una reconstrucción se elabora con las curvas para las distintas duraciones. Se partió de la duración de la totalidad de la tormenta de estudio (6 horas) interpolada con Kriging y de tamaño de pixel de 100 m. Los resultados muestran que existen diferencias sustanciales en la elaboración de las curvas en superficies mayores a 100 km², y cuando las duraciones son menores a cuatro horas, esto es debido a que el método de la curva másica toma en cuenta el patrón de variación espacio-temporal del evento.

Palabras Clave: análisis de tormentas, filtros digitales, modelado, SIG.

Abstract

The Rainfall Analysis is a method which has the purpose to reconstruct the spatial and temporal variation of a Storm. For the elaboration of the Depth-Area-Duration curve (DAD) two methods (Isoyetic Incremental and Mass Curve) were used. This study is a comparison of both methods applied to the same Storm event occurred the 28-04-1972, with the max value registered in the hydrometric station of Chama-Ejido. The Isoyetic Incremental method was applied interpolating grids with Lineal Kriging with the pixel size of 100 m, then

*Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Departamento de Ordenación de Cuenecas, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida-Venezuela. E-mail: andradesjesus@yahoo.com

**Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y ambientales de Postgrado (CEFAP), E-mail: alexb@ula.ve

***Universidad de Los Andes, estudiante de la Maestría Manejo de Cuenecas, Mérida-Venezuela.

it was applied an average filter with a kernel of variable size for the different duration, in order to identify the absolute maximum precipitation for a given area and duration. The Curve Mass method was applied in order to reconstruct the storm, based in the similarity supposition between the spatial-temporal pattern and the storm total duration (6 hours). For the reconstruction was used the storm total duration (6 hours) with Lineal Kriging and pixel size of 100 m. The results show a noteworthy difference when the duration is less to four hours, and the areas superior to 100 km², because the mass curve method does not represent the spatial and temporal variation of the precipitation on the storm.

Keywords: rainfall analysis, filter, modeling, GIS.

Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (1994) señala que “el objetivo del análisis de la lluvia de una tormenta es obtener las características (altura o cantidad, superficie afectada y duración de la lluvia) de una tormenta particular”, por tanto las curvas Altura-Área-Duración (AAD) son la síntesis descriptiva de la tormenta ocurrida. Las curvas AAD indican las máximas cantidades de precipitación que ocurrieron sobre varios tamaños de superficie drenada y según diferentes intervalos estándar de tiempo considerados. El análisis de las curvas AAD es de importancia para el diseño de obras civiles, como aliviaderos y puentes, además de otras estructuras menores (Linsley et al., 1977; Chow et al., 1988), y en general, para cualquier estudio hidrológico de crecidas.

Dos métodos se usan para el análisis AAD (Kalma y Franks, 2003): el método de la curva másica y el método isoyético incremental. El primero se basa en las curvas másicas individuales de cada estación y en un sólo mapa isoyético: el de la tormenta total. El método isoyético incremental, al contrario, se fundamenta en la elaboración de varios mapas isoyéticos, dependiendo de la duración total de la tormenta y de los distintos intervalos de tiempo o duraciones que se quieran evaluar. El método de la curva de masa ha sido el más utilizado por ser menos laborioso y fue descrito inicialmente por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1969); y posteriormente en distintos textos de hidrología (Duque, 1980; Aparicio, 1992; Shaw, 1994). El desarrollo de los Sistemas

de Información Geográfica (SIG), con su elevado poder de cómputo permite que la elaboración de mapas isoyéticos y la planimetría de superficies se hagan relativamente de manera más rápida y simple, brindando oportunidad para una mayor aplicación del método isoyético incremental.

El filtrado digital es una operación de convolución de la imagen original con la función filtro (Pinilla et al., 1997), el filtrado espacial es la operación que se aplica a imágenes ráster para mejorar o suprimir detalles espaciales con el fin de mejorar la interpretación visual. Ejemplos comunes incluyen aplicar filtros para mejorar los detalles de bordes en imágenes, o para reducir o eliminar patrones de ruido. Filtrado espacial es una operación "local" en procesamiento de imagen en el sentido de que modifica el valor de cada píxel de acuerdo con los valores de los píxeles que lo rodean; se trata de transformar los Niveles Digitales (ND) originales de tal forma que se parezcan o diferencien más de los correspondientes a los píxeles cercanos, los filtros de paso bajo enfatizan las bajas frecuencias, suavizando las imágenes y suprimiendo ruidos. Se trata de asemejar el ND de cada píxel al ND de los píxeles vecinos, reduciendo la variabilidad espacial de la imagen y asumiendo el comportamiento de diversas medidas de tendencia central (media, moda, mediana). Ello produce un emborronamiento de los bordes, perdiéndose en nitidez visual de la imagen, pero ganando en homogeneidad (Iturrate, 1998). El sistema matricial de coordenadas de una imagen es lo que se denomina dominio espacial. Sin embargo, la misma imagen puede ser considerada como una función no periódica y definirse en otro espacio bidimensional, cuyos ejes vengan determinados por la amplitud y la frecuencia para cada dirección en la imagen. Este nuevo espacio de referencia para la descripción de la imagen se conoce como dominio de la frecuencia (Pinilla et al., 1997) (Ver figura 1).

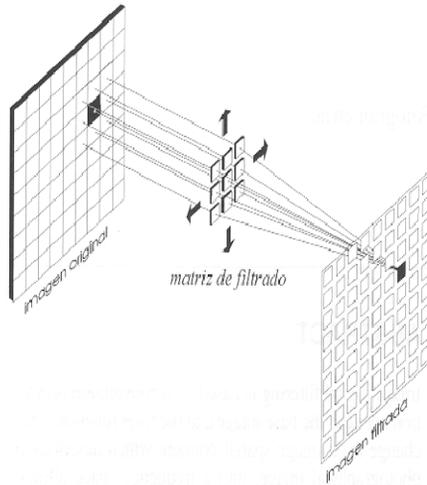


Figura 1. La matriz deslizante de filtrado en el dominio espacial.

En el presente trabajo se elaboraron curvas AAD para una tormenta en particular aplicando el método isoyético incremental, comparándose los resultados con aquellos correspondientes al método tradicional de la curva máscica; ambos métodos se desarrollaron en un ambiente SIG.

Materiales y métodos

Se seleccionó la tormenta producida el 28 de abril de 1972 sobre la cuenca alta del río Chama, en los Andes Venezolanos, la cual ha sido la tormenta con el máximo caudal instantáneo registrado en la estación hidrométrica ubicada en la localidad de Ejido, Estado Mérida. La tormenta tuvo una duración efectiva de 6 horas, desde las 19:00 hasta las 24:00. Se dispuso de los registros horarios en 14 estaciones registradoras de precipitación ubicadas en la cuenca. En la tabla 1 se presentan los datos y en la figura 2 las Isoyetas Totales de la tormenta analizada.

Tabla 1. Datos horarios de precipitación (mm) tormenta 28-04-1972 Cuenca Alta del Río Chama

ESTACIÓN	Serial	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H	24H	TOTAL
PC	3027	0	0	0	0,4	0	0	0	7,2	5,6	25,1	10,4	6,8	55,5
V G	3024	0	0	0	0,3	0	0	0	5	3,9	17,4	7,3	4,6	38,5
HC	3168	0	0	0	0,3	0	0	0	5,3	4,1	18,3	7,7	4,9	40,6
MA	3047	0	0	0	1,8	0,2	0	0	2,7	7	17,9	12,6	2,9	45,1
LP	8055	0	0	0	0,8	0,1	0	0	1,1	3	7,8	5,4	1,3	19,5
ME	3042	0	0	0	0,8	0,1	0	0	1,2	3,1	8	5,6	1,1	19,9
JA	3169	0	0,2	0,2	0,5	0	0,2	6,9	1,8	0,8	3,4	5,9	4,3	24,2
MB	3029	0	0	0	0	0	0	0	0,6	7,2	6	4,1	0,4	18,3
MU	3121	0	0	0	0	0	0	0	0,3	4	3,2	2,3	0,2	10
CU	3040	0,3	0,5	0	0,7	1,5	0	6,5	1,9	6,1	6,2	5,5	3,1	32,3
PA	3112	0	0	0	0	0,6	0,5	0,4	2,2	1	0,1	0,2	0,2	5,2
MO	3080	0	0	0	0	2,1	0,1	1,5	2,9	2,4	2,4	0,5	0	11,9
MJ	3072	0	0	0	0	0	0	0	0,3	4,1	3,5	2,1	0,2	10,2
PL	3161	0	0	0	0	0	0	0	0,2	2,8	2,3	1,6	0,1	7

El análisis de la tormenta se realizó para 6 duraciones horarias: 1, 2, 3, 4, 5 y 6 horas, debiéndose considerar, entonces, todas las combinaciones horarias posibles, según se indica en el Tabla 2. Se requiere elaborar así un total de 21 mapas isoyéticos, según el método isoyético incremental. En el ambiente SIG no se trabajó directamente con mapas isoyéticos, sino con mapas o superficies raster que representan la total distribución espacial de la lluvia, siendo el plano isoyético una representación más simple que se extrae del mapa raster.

Todos los mapas de precipitación se elaboraron usando como interpolación el método de "Kriging Lineal" con superficies raster de 100 m de resolución. En la figura 1 se muestra el mapa de isoyetas para la duración total de la tormenta (6h); las isolíneas fueron derivadas directamente en el ambiente SIG a partir del mapa raster interpolado.

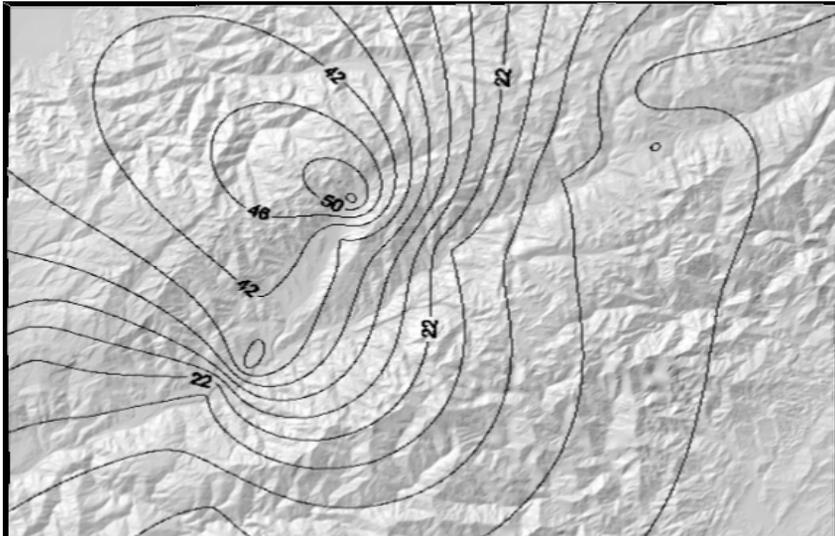


Figura 2. Isoyetas de la tormenta total del 28/04/1972 Mérida, Estado Mérida.

Tabla 2. Esquema horario de los mapas isoyéticos elaborados

Duración a evaluar	Número de mapas	Longitudes horarias consideradas para el mapa						
		19h	20h	21h	22h	23h	24h	
1h	6	19h	20h	21h	22h	23h	24h	
2h	5	19h-20h	20h-21h	21h-22h	22h-23h	23h-24h		
3h	4	19h-21h	20h-22h	21h-23h	22h-24h			
4h	3	19h-22h	20h-23h	21h-24h				
5h	2	19h-23h	20h-24h					
6h	1	19-24h						

Sobre cada mapa raster se hicieron “rastreos” para determinar la máxima precipitación media sobre distintos tamaños de superficie. Esta tarea se realizó mediante una operación estándar de los SIG denominada “filtrado de media” y posterior determinación del píxel con máximo valor resultante, dado que cada filtro tiene una referencia espacial para la duración de la tormenta, es decir, un filtro de tamaño 3x3, 9 celdas (9

ha.), representa la media de la precipitación para la hora n y la superficie de 9 ha. Se hicieron filtrados con diferentes tamaños de filtro o “kernels”, los cuales son simples arreglos matriciales que representan la superficie drenada a evaluar. En la tabla 3 se indican los arreglos matriciales diseñados con tal fin.

Los resultados del “rastreo” de cada mapa, es decir la precipitación media sobre los distintos tamaños de superficie drenada, constituyen la descripción espacio-temporal de la tormenta en términos discretos. A efectos de elaborar las curvas AAD se extrajo del conjunto de datos anterior los valores máximos absolutos correspondientes a una determinada duración y para cada tamaño de superficie drenada considerado. Un esquema ilustrativo del procedimiento seguido hasta la determinación de los puntos para la curva AAD se muestra en la figura 3.

Tabla 3. Tamaños de filtro y rastreada por el Kernel.

Tamaño del Kernel (matriz de pixeles)	Superficie drenada equivalente (km ²)
3x3	0,09
7x7	0,5
11x11	1,21
33x33	10,89
45x45	20
55x55	30
73x73	53,3
87x87	75
99x99	98,01
113x113	127,69
161x161	259,21
173x173	299,29

Por último, usándose solamente el mapa isoyético correspondiente a la duración total de la tormenta, es decir el de 6 horas, se elaboraron curvas AAD según el método tradicional de la curva de masa, para lo cual se siguió el formato tabular indicado en WMO (1969) y Duque (1980), utilizando únicamente isoyetas encerradas, superiores a los 45 mm.

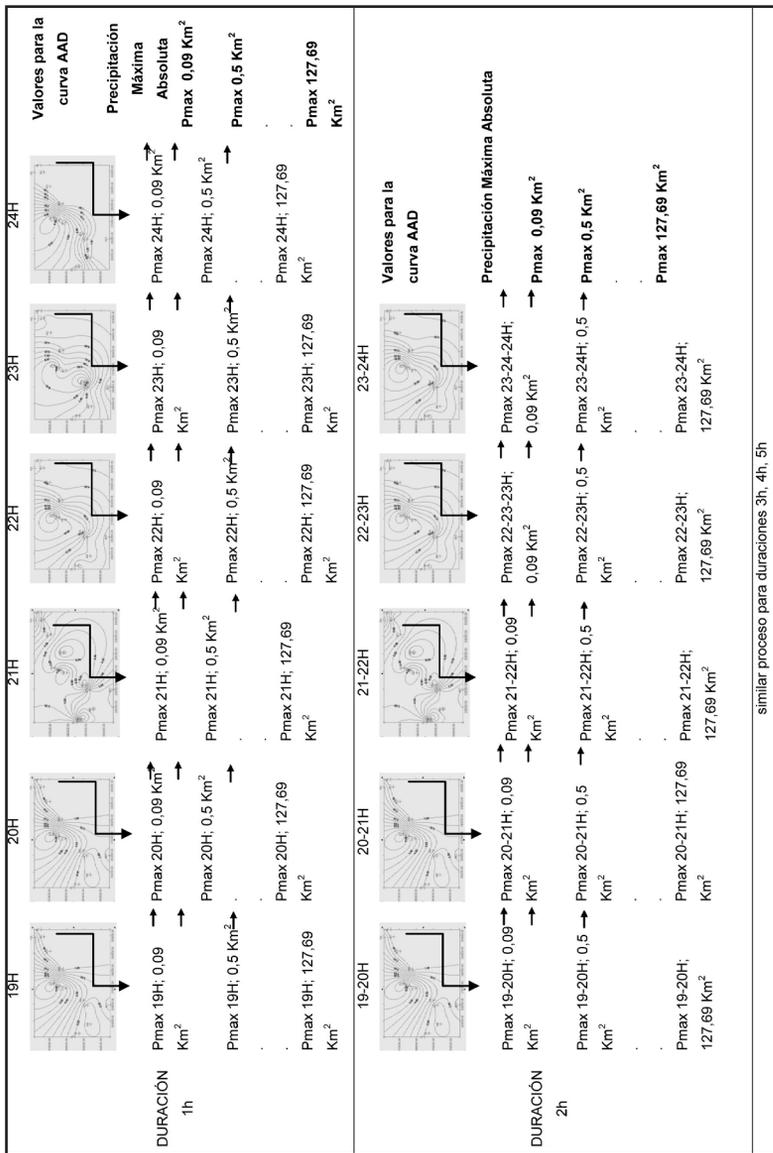
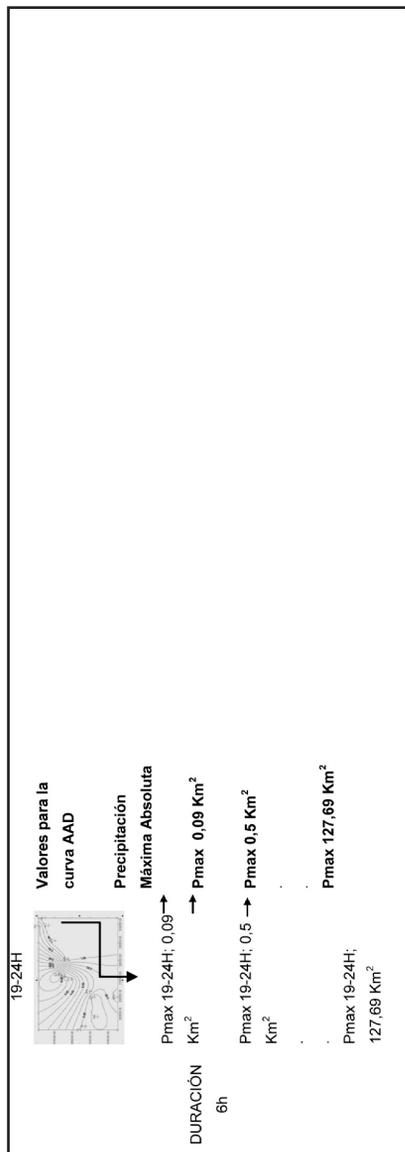


Figura 3. Esquema de la creación de mapas y "rastros" hasta obtener los puntos de las curvas AAD con el método isoyético incremental



Continuación Figura 3. Esquema de la creación de mapas y “rastreos” hasta obtener los puntos de las curvas AAD con el método isoyético incremental

Resultados y discusión

En la tabla 4 se presentan las precipitaciones máximas encontradas producto de los múltiples filtrados de media aplicados a cada uno de los 21 mapas elaborados, según lo indicado por el método isoyético incremental. Adicionalmente, también se indica en el cuadro la máxima altura media de precipitación (Pmax) seleccionada para la elaboración de las curvas AAD. En la tabla 5 se muestra el cálculo correspondiente al método tradicional de la curva de masa, el cual se desarrolló manualmente en formato tabular a partir del mapa isoyético de la tormenta total.

Tabla 4. Precipitaciones máximas (mm) producto del filtrado de media con diferentes kernel

	Superficie según tamaño de kernel (km ²)											
	0,1	0,5	1,21	10,9	20	30	53,3	75	98	127,7	259,2	299,3
Duración 1h												
19h	6,86	6,82	6,78	6,62	6,55	6,45	6,23	6,04	5,88	5,7	5,14	5,01
20h	7,16	7,1	7,06	6,83	6,72	6,64	6,51	6,42	6,34	6,25	5,99	5,93
21h	7,17	7,14	7,1	6,92	6,83	6,76	6,63	6,53	6,46	6,37	6,12	6,06
22h	25,07	24,83	24,44	24,06	23,75	23,5	23,02	22,63	22,39	22,14	21,8	21,5
23h	12,5	12,38	12,25	11,64	11,32	11,08	10,66	10,36	10,11	9,86	9,23	9,14
24h	6,76	6,71	6,67	6,47	6,39	6,33	6,23	6,16	6,11	6,05	5,86	5,81
<i>Pmax</i>	25,07	24,83	24,44	24,06	23,75	23,5	23,02	22,63	22,39	22,14	21,8	21,5
Duración 2h												
19h-20h	9,06	9,05	9,05	9,03	9,01	9	8,98	8,97	8,95	8,94	8,88	8,86
20h-21h	12,73	12,65	12,57	12,17	11,98	11,83	11,59	11,43	11,31	11,17	10,77	10,68
21h-22h	30,52	30,28	30,05	28,91	28,36	27,95	27,28	26,61	26,43	26,03	24,77	24,49
22h-23h	35,28	35,01	34,74	33,44	32,84	32,38	31,66	31,15	30,74	30,29	28,89	28,57
23h-24h	17,1	16,98	16,87	16,33	16,1	15,93	15,68	15,51	15,37	15,22	14,75	14,64
<i>Pmax</i>	35,28	35,01	34,74	33,44	32,84	32,38	31,66	31,15	30,74	30,29	28,89	28,57
Duración 3h												
19h-21h	14,44	14,38	14,33	14,28	14,25	14,23	14,18	14,14	14,11	14,07	13,93	13,9
20h-22h	37,68	37,39	37,1	35,72	35,07	34,58	33,77	33,21	32,76	32,26	30,72	30,36
21h-23h	40,86	40,55	40,24	38,76	38,06	37,54	36,69	36,11	35,66	35,16	33,64	33,3
22h-24h	42,04	41,72	41,41	39,9	39,21	39,7	37,87	37,29	36,83	36,31	34,68	34,3
<i>Pmax</i>	42,04	41,72	41,41	39,9	39,21	39,7	37,87	37,29	36,83	36,31	34,68	34,3
Duración 4h												
19h-22h	37,69	37,42	37,16	35,91	35,04	34,91	34,24	33,78	33,42	33,03	31,84	31,57
20h-23h	48,02	47,65	47,3	45,57	44,77	44,17	43,2	42,53	41,99	41,4	39,58	39,16
21h-24h	47,62	47,26	46,91	45,21	44,42	43,83	42,89	42,24	41,73	41,17	39,43	39,04
<i>Pmax</i>	48,02	47,65	47,3	45,57	44,77	44,17	43,2	42,53	41,99	41,4	39,58	39,16
Duración 5h												
19h-23h	48,03	47,69	47,36	45,76	45,06	44,51	43,68	43,11	42,67	42,19	40,72	40,38
20h-24h	54,78	54,37	53,96	52,04	51,14	50,47	49,4	48,66	48,06	47,42	45,39	44,92
<i>Pmax</i>	54,78	54,37	53,96	52,04	51,14	50,47	49,4	48,66	48,06	47,42	45,39	44,92
Duración 6h												
19h-24h	54,79	54,4	54,02	52,22	51,42	50,83	49,89	49,27	48,77	48,23	46,56	46,18
<i>Pmax</i>	54,79	54,4	54,02	52,22	51,42	50,83	49,89	49,27	48,77	48,23	46,56	46,18

Tabla 5. Cálculo de los puntos AAD según el método de la curva de masa

Isoyeta envolvente			Estaciones influentes		Curvas Máficas y cálculo AAD					
Valor (mm)	Área encerrada (km ²)	Precipitación media (mm)	Estación	Polígono de Thiessen (km ²)	19h	20h	21h	22h	23h	24h
55	0.01	55.0	PC	0.01	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	7.2	5.6	25.1	10.4	6.8
				<i>d) Pmax</i>	25.1	35.5	42.2	48.2	55.0	55.0
53	2.44	53.7	PC	2.44	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	7.0	5.5	24.4	10.1	6.6
				<i>d) Pmax</i>	24.4	34.6	41.2	47.0	53.7	53.7
51	12.39	52.1	PC	12.39	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	6.8	5.3	23.8	9.8	6.4
				<i>d) Pmax</i>	23.8	33.6	40.0	45.7	52.1	52.1
49	39.61	50.5	PC	39.61	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	6.6	5.1	23.0	9.5	6.2
				<i>d) Pmax</i>	23.0	32.6	38.8	44.3	50.5	50.5
47	96.51	49.0	PC	89.06	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
			VG	7.59	0.0	5.0	8.9	28.3	35.6	40.2
				<i>a) PMThiessen</i>	0.0	7.0	12.5	37.2	47.4	54.0
				<i>b) PMAjustada</i>	0.0	6.4	11.3	33.7	43.0	49.0
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	6.4	5.0	22.4	9.2	6.0
				<i>d) Pmax</i>	22.4	31.6	37.6	43.0	49.0	49.0
45	203.93	47.4	PC	162.89	0.0	7.2	12.8	37.9	48.3	55.1
			VG	40.11	0.0	5.0	8.9	28.3	35.6	40.2
			HC	0.92	0.0	5.3	4.1	18.3	7.7	4.9
				<i>a) PMThiessen</i>	0.0	6.8	12.0	35.9	45.6	51.9
				<i>b) PMAjustada</i>	0.0	6.2	10.9	32.8	41.6	47.4
				<i>c) Incrementos</i>	0.0	6.2	4.8	21.8	8.8	5.8
				<i>d) Pmax</i>	21.8	30.7	36.5	41.6	47.4	47.4

Los resultados del análisis de la tormenta por ambos métodos se muestran en la Figura 4 en ellos se observa una diferenciación sustancial en la duración de 1 hora a 4 horas, pues en estas duraciones en áreas superiores a 1 km² existe una diferencia notable en el evento, pues se observa una mayor precipitación media en él a partir que se supera 1 km² en el método isoyético en comparación con el método automatizado, esto es debido posiblemente a que el método isoyético en su concepción se basa en el supuesto de que el evento analizado es estático en el sentido espacio-temporal, es decir, que el comportamiento espacio-temporal de la tormenta es extremadamente similar al de la totalidad de la precipitación caída, en el caso del método automatizado este en su concepción toma en cuenta el patrón de cambio espacio-temporal del evento por lo que se presume que este método se aproxima más al

comportamiento de la real del evento.

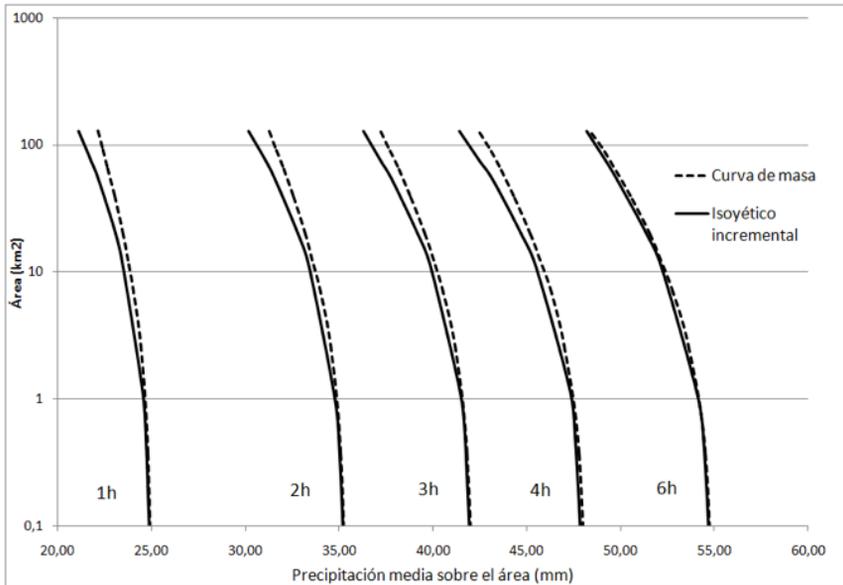


Figura 4. Curvas AAD Tormenta del 28 de abril de 1972-Cuenca alta del río Chama

Si se comparan el cambio temporal de las curvas se observa que en la hora 1 no existe similitud entre ambos métodos pero a medida que se avanza la similitud aumenta, hasta que en la hora 6 las curvas se hacen prácticamente iguales, esto es debido a que el método automatizado toma en cuenta el patrón de variación espacio temporal del evento y mientras aumenta las duración este se asemeja más al patrón final espacial de la tormenta analizada.

En la tabla 6 se presenta la diferencia absoluta entre ambos métodos para las áreas similares para cada una de las duraciones. En efecto se observa que a partir de la superficie de 20 km² la diferencia entre ambos métodos supera el 0,18 mm de diferencia y alcanzando su máximo en los 70 km² en donde varía desde los 0 mm en la duración de 1 hora hasta los 2,22 mm en la duración de 5 horas para la misma área. Este es un efecto causado por la conceptualización de los métodos el primero el isoyético basado en valores estáticos espaciotemporalmente y el segundo basado en una dinámica espacio temporal.

Tabla 6. Diferencia absoluta entre método Isoyético y método Automatizado para las áreas similares

TORMENTA 28/04/1972 AREA (km ²)	1H (mm)	2H (mm)	3H (mm)	4H (mm)	5H (mm)	6H (mm)
0.01	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
0.4	0.13	0.11	0.14	0.17	0.20	0.10
2	0.06	0.13	0.21	0.27	0.25	0.35
11	0.31	0.15	0.13	0.14	0.1	0.06
20	0.25	0.39	0.39	0.44	0.44	0.18
70	0	0.84	1.81	2.11	2.22	1.43
130	0	0.93	0.83	1.00	0.90	0.09
260	0.29	1.38	1.28	1.45	1.33	0.16
300	0.96	1.43	0.99	1.77	1.31	0.05

Es destacable que en ambos métodos se observa la particularidad de que la duración efectiva del evento es de 5 horas esto se observa ya que en ambas curvas en la hora 5 se detiene el aumento de la precipitación.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos por ambos procedimientos en la tormenta del 28/04/1972 poseen diferencias sustanciales a partir de los 70 km² lo que se atribuye a que el método Automatizado toma en cuenta el patrón variación espacio temporal del evento. Es probable que aplicando la metodología a otros eventos las diferencias entre ambos procedimientos sean aún mayores, pues las diferencias son causadas por el patrón de variación espacio temporal de la tormenta en cuestión. Por otro lado, es recomendable explotar las potencialidades de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el modelado dinámico del terreno, pues su uso tiende a aproximarse más a la realidad de estudio.

Referencias bibliográficas

- APARICIO M, F.J. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa. 1ra Reimp. México.
- CHOW, V., MAIDMENT, D. y MAYS, L. 1993. Hidrología aplicada. Primera edición. Editorial McGraw-Hill Primera edición. New York USA. p. 361-390, 464-465.
- CHOW, V.T., MAIDMENT D.R. y MAYS, L.W. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York. 572 p.

- FERMIN, C. 1983. Análisis y preparación del atlas de tormentas de Venezuela. Metodología. Primer encuentro nacional sobre Clima, Agua y Tierra, I Jornadas Nacionales de Hidrología Meteorología y Climatología. MARN. Primera Edición. Caracas. 23p.
- DUQUE, R. 1985. Precipitación formación, medición y análisis de datos. CIDIAT, Serie Hidrología H-21. Mérida.
- ITURRATE, E. 1998. Curso básico de teledetección con ENVI. Estudio Atlas S.L. En Línea (6/1/2011). <http://www.innovanet.com.ar/gis/TELEDETE/TELEDETE/tradiimg.htm>
- KALMA, J.D y FRANKS, S.W. 2003. Rainfall in arid and semi-arid regions En: Understanding Water in a Dry Environment: Hydrological Processes in Arid and Semi-arid Zones. Ian Simmers (Ed). IAH International Contributions to Hydrogeology 23. Editorial Routledge. USA. Primera Edición. pp 15–64.
- LINSLEY, R., KOHLER, M. y PAULUS, J. 1977. Hidrología para ingenieros. Editorial McGrawHill Latinoamericana, S.A. Segunda edición. New York USA. 386p.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 1994. Quinta edición. Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM–N° 168. 785p.
- PINILLA, C., ALCALÁ, A. y ARIZA, J. 1997. Filtrado de imágenes en el dominio de la Frecuencia. Revista de Teledetección A.E.T N° 8
- PONTE, R. 1983. Determinación media y Análisis de Profundidad-Área Duración de tormentas por el método multicuadrático en Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. 109p.
- SHAW, E. M. 1994. Hydrology in Practice: Third Edition. Chapman & Hall. Tercera Edición. Londres Inglaterra. 563p.
- WMO. 1969. Manual for Depth-Area-Duration Analysis of Storm Precipitation. Primera Edición. World Meteorological Organization. WMO-N° 237. Geneva. 114p.